

**PENYELESAIAN *CAPACITATED CLOSED VEHICLE ROUTING*
PROBLEM WITH TIME WINDOWS (CCVRPTW) MENGGUNAKAN
BRKGA DENGAN *LOCAL SEARCH***



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I pada
Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik**

Oleh:

MUSYAHIDA AZMY ALFATSANI

D 600 120 041

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2016**

HALAMAN PERSETUJUAN

**PENYELESAIAN *CAPACITATED CLOSED VEHICLE ROUTING PROBLEM*
WITH TIME WINDOWS (CCVRPTW) MENGGUNAKAN BRKGA DENGAN
*LOCAL SEARCH***

PUBLIKASI ILMIAH


oleh:

MUSYAHIDA AZMY ALFATSANI

D 600 120 041

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen Pembimbing



Hari Prasetyo, ST, MT, Ph.D

NIK. 886

HALAMAN PENGESAHAN

**PENYELESAIAN CAPACITATED CLOSED VEHICLE ROUTING PROBLEM
WITH TIME WINDOWS (CCVRPTW) MENGGUNAKAN BRKGA DENGAN
LOCAL SEARCH**

OLEH

MUSYAHIDA AZMY ALFATSANI

D 600 120 041

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji

Fakultas Teknik

Universitas Muhammadiyah Surakarta

Pada hari Sabtu, 6 Agustus 2016

dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji:

1. Hari Prasetyo, ST, MT, Ph.D

(Ketua Dewan Penguji)

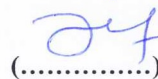
2. Hafidh Munawir, ST, M.Eng

(Anggota I Dewan Penguji)

3. Eko Setiawan, ST, MT, Ph.D

(Anggota II Dewan Penguji)


(.....)


(.....)


(.....)

Dekan,



Dr. Sri Sunariono, MT, Ph.D

NIK. 682

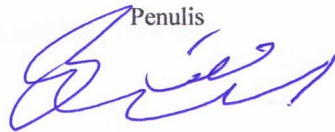
PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 10 Agustus 2016

Penulis



MUSYAHIDA AZMY ALFATSANI

D 600 120 041

PENYELESAIAN *CAPACITATED CLOSED VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH TIME WINDOWS* (CCVRPTW) MENGGUNAKAN BRKGA DENGAN *LOCAL SEARCH*

Abstrak

Pencarian urutan rute terpendek distribusi produk dari depot menuju ke titik-titik (*outlet*) dengan tujuan meminimalkan total biaya distribusi merupakan permasalahan utama dari *Vehicle Routing Problem* (VRP). *Capacitated Closed Vehicle Routing Problem with Time Windows* (CCVRPTW) merupakan salah satu varian dari VRP yang mengakomodasi kapasitas kendaraan dan jangka waktu distribusi. Karena permasalahan CCVRPTW merupakan masalah *Non-Polynomial Hard* (NP-Hard), maka diperlukan algoritma yang efisien dan efektif untuk menyelesaikan kasus tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk merancang *Biased Random Key Genetic Algorithm* (BRKGA) yang dikombinasikan dengan *local search* untuk menyelesaikan CCVRPTW. Hasil rancangan algoritma kemudian dikodekan dengan MATLAB. Melalui test numerik ditetapkan parameter algoritma yang optimal kemudian unjuk kerja dari algoritma dibandingkan metode heuristik dan BRKGA Standar untuk menyelesaikan kasus pendistribusian *soft drink*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa BRKGA yang dipadukan dengan *local search* menghasilkan total biaya distribusi yang lebih rendah dibandingkan dengan metode heuristik yang telah digunakan untuk menyelesaikan permasalahan serupa. Selain itu, algoritma yang dirancang mampu meningkatkan unjuk kerja BRKGA Standar.

Kata Kunci: BRKGA, CCVRPTW, Heuristik, *Local Search*, NP-Hard

Abstracts

Determining the shortest route sequence for distributing product from depot to a number of outlets to minimize the total distribution cost is the main problem to deal with in *Vehicle Routing Problem* (VRP). *Capacitated Closed Vehicle Routing Problem with Time Windows* (CCVRPTW) is a variant of VRP that accommodates the truck capacity and the working hours at the distribution. As CCVRPTW falls into NP-hard problem, it requires an efficient and effective algorithm to find the optimal solution. This research is aimed at designing *Biased Random Key Genetic Algorithm* (BRKGA) combined with a local search to solve CCVRPTW. The proposed algorithm is then coded in MATLAB. Using extensive numerical tests, the best setting of the algorithm parameters is obtained. The performance of the algorithm is then compared to a heuristic for solving a soft drink distribution problem. The result shows that BRKGA hybridized with a local search returns a lower total distribution cost compared to that of resulting from the heuristic. In addition, it is demonstrated that the proposed algorithm could further improve the performance of the standard BRKGA.

Keywords: BRKGA, CCVRPTW, Heuristic, Local Search, NP-Hard

1. PENDAHULUAN

Permasalahan *Vehicle Routing Problem* (VRP) yang paling utama adalah menemukan urutan rute distribusi antara depot dan *outlet*, sehingga semua *outlet* terpenuhi dan jarak tempuh serta biaya pengiriman minimum (Arvianto *et al.*, 2014), kendaraan hanya boleh mengunjungi *outlet* sebanyak

satu kali (Fajarwati & Anggraeni, 2012). VRP bertujuan untuk melakukan pendistribusian produk pada *outlet-outlet* yang tersebar di berbagai wilayah, guna mengoptimalkan jarak distribusi (Grasas *et al.*, 2014) dan biaya distribusi (Pradhana *et al.*, 2011). Diasumsikan VRP rute terbuka yaitu kendaraan harus berangkat dan kembali ke depot (Fleszar *et al.*, 2009). Kasus VRP yang terjadi salah satunya dalam dunia industri yaitu distribusi minuman ringan (Amri *et al.*, 2014), distribusi beras (Putri *et al.*, 2014), distribusi sayuran dataran tinggi (Slamet *et al.*, 2014), penentuan rute truk pengumpulan dan pengangkutan sampah (Fitria *et al.*, 2009), distribusi LPG dan lain-lain. Selain itu dalam dunia kesehatan, pendistribusian darah dari beberapa area sampel pengumpulan darah menuju ke klinik laboratorium analisis memerlukan rute pendistribusian yang optimal, sehingga jarak tempuh minimum dan darah tidak mengalami kerusakan (Grasas *et al.*, 2014). Kasus VRP pada proses pengumpulan sampah yaitu truk pengangkut sampah berangkat dari depot menuju ke beberapa area TPS dan melakukan pembuangan di TPA, urutan rute pengangkutan sampah dibutuhkan untuk menghasilkan rute terpendek sehingga sampah dapat diangkut tepat waktu (Arinalhaq *et al.*, 2013). Banyaknya *outlet* yang harus didistribusikan oleh depot menyebabkan alur pendistribusian yang tak pasti, sehingga perlu adanya rute pendistribusian untuk meminimumkan jarak tempuh dan biaya distribusi. Maka dari itu, VRP menjadi sangat penting untuk di kaji, mengingat aplikasinya dalam kehidupan nyata.

Amri *et al.* pada tahun 2014 telah menyelesaikan permasalahan VRP dalam dunia industri yaitu pada kasus pendistribusian *soft drink* yang memiliki rute kurang optimal, sehingga perusahaan menanggung biaya lembur karyawan. Kasus yang sama terjadi pada distribusi alat komputer yang telah diselesaikan oleh Pradhana *et al.* (2011). Selain itu permasalahan VRP juga diaplikasikan dalam penyelesaian distribusi beras bersubsidi, distributor beras mengalami kendala dalam melakukan penyaluran beras baik itu berupa pengiriman, permintaan maupun waktu tempuh dan waktu pelayanan (Putri, *et al.*, 2014). Penerima beras yang akan dikunjungi oleh distributor adalah 20 titik, dengan memperhitungkan kendala waktu dan kapasitas. Kemungkinan adanya kendala distribusi memiliki andil yang besar dalam proses distribusi, seperti adanya jangka waktu pengiriman dan kapasitas alat angkut. Oleh karena itu, perlu adanya pembahasan mengenai kendala dalam distribusi agar tidak terjadi keterlambatan pengiriman produk dan seluruh produk didistribusikan dengan optimal.

Karakteristik VRP banyak diselesaikan dalam berbagai penelitian, seperti VRP dengan batasan kapasitas, dimana kendaraan memiliki kapasitas angkut terbatas dan berbeda-beda antar kendaraan dinamakan *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP). Penelitian CVRP telah dilakukan oleh Faiz & Fahmi (2013) dengan kasus pendistribusian koran, perusahaan melakukan

distribusi dari depot menuju ke beberapa agen penjualan koran agar efisien dan tepat waktu serta biaya distribusi minimum. Selain distribusi koran, CVRP juga menjadi masalah pada distribusi minuman ringan, rute pengiriman yang dilakukan ditentukan oleh supir sehingga rute berubah-ubah sewaktu-waktu sesuai dengan keinginan supir. Distributor juga membatasi jumlah kendaraan yang digunakan dalam distribusi, sehingga kapasitas kendaraan terbatas (Purnomo, 2010). Karakteristik VRP yang lain merupakan batasan jendela waktu (*Time Windows*), dimana pendistribusian produk berdasarkan waktu yang ditentukan perusahaan. *Vehicle Routing Problem with Time Windows*(VRPTW) telah dilakukan pada penelitian Saputri (2015) dengan kasus pendistribusian mie instan, permasalahan terjadi karena penentuan rute yang ditempuh sehingga waktu tempuh optimal dan pengiriman dapat memenuhi permintaan sesuai waktu yang ditetapkan konsumen. Distribusi pengumpulan sampel darah sangat krusial karena sifat darah yang sangat mudah rusak, untuk itu perlu ditetapkan jendela waktu dalam proses distribusinya, penelitian ini dilakukan oleh Grassas pada tahun 2014. Kendaraan yang berangkat dari depot dan kembali lagi ke depot dinamakan rute tertutup (*close*). Sedangkan kendaraan yang berangkat dari suatu tempat menuju ke beberapa *outlet* dan diakhiri di depot dinamakan VRP rute terbuka (*open*), dengan asumsi kendaraan yang digunakan bukan milik perusahaan. Berdasarkan beberapa karakteristik yang terdapat pada VRP, maka karakteristik permasalahan dalam penelitian ini adalah *Capacitated Closed Vehicle Routing Problem with Time Windows* (CCVRPTW). Peneliti yang membahas permasalahan CVRPTW adalah (Lukitasary *et al.*, 2011; Lydia *et al.*, 2011; Widyaningrum *et al.*, 2011) pada kasus distribusi surat. Kapasitas dan jangka waktu yang tentukan menjadi batasan dalam distribusi ini, jika surat sampai sebelum jangka waktu maka surat harus menunggu dan jika surat sampai setelah jangka waktu maka distribusi akan dimulai dari pencarian jalur awal. Tujuan utama dari permasalahan CCVRPTW adalah menemukan solusi yang efisien dan efektif sehingga dihasilkan solusi optimum.

Permasalahan ini sulit dipecahkan dengan metode analitik, karena fungsi tidak dapat diturunkan, sehingga seringkali tidak mudah memperoleh solusi bahkan tidak mendapatkan solusi. Pada tahun 1989, peneliti bernama Carlier & Pinson melakukan penelitian terhadap penjadwalan 10 pekerjaan dan 10 mesin dan berhasil diselesaikan dengan metode eksak setelah kurun waktu 20 tahun (Goncalves & Resende, 2011). Meskipun solusi yang dihasilkan optimum, namun waktu komputasi yang dibutuhkan sangat lama. Amri *et al.* (2014) pada penelitiannya, menyelesaikan kasus distribusi *soft drink* dengan metode heuristik yaitu *Nearest Neighbour*, pada dasarnya metode ini berjalan lebih cepat dari pada metode eksak. Namun, metode heuristik mengabaikan apakah solusi optimum yang dihasilkan adalah yang paling optimum. Beberapa peneliti yang menggunakan metode heuristik adalah Arinalhaq *et al.* (2013) dan Amri *et al.* (2014) dengan metode *Nearest*

Neighbour. Metode Heuristik digunakan pula dalam penelitian Djunaidi *et al.* (2006) untuk meminimumkan biaya *material handling*. Metode *Clark and Wright Saving Heuristic* telah digunakan dalam penelitian Purnomo (2010) pada distribusi minuman ringan dan Octora *et al.* (2014) pada kasus distribusi *consumer good*. Octora *et al.* (2014) juga melakukan penelitian dengan metode Algoritma *Sequal Insertion* pada permasalahan yang sama. Maka dari itu dirancang model komputasi yang sesuai dengan penelitian ini, yaitu metode metaheuristik. Metaheuristik menemukan solusi lebih optimum dan waktu komputasi yang lebih cepat dari metode eksak maupun heuristik, hal tersebut membuat metode ini banyak digunakan untuk menyelesaikan permasalahan yang rumit seperti pada penelitian ini. Beberapa metode metaheuristik yang diperkenalkan adalah *Simulated Annealing*, *Ant Coloni Optimization* dan *Genetic Algorithm* (Resende, 2012). *Simulated Annealing* telah digunakan dalam penelitian Lukitasari *et al.* (2011), *Ant Coloni Optimization* telah digunakan dalam penelitian Liliani & Alfian (2014) untuk menyelesaikan permasalahan penjadwalan dan *Genetic Algorithm* diselesaikan dalam penelitian Slamet *et al.* (2014). Selain itu Pavela & P (2009) menggunakan metode *Tabu Search* untuk menghasilkan urutan rute distribusi optimal dalam pendistribusian roti. Namun pada penelitian ini akan digunakan metode metaheuristik yang berbeda, yaitu *Biased Random Key Genetic Algorithm* (BRKGA) yang mengambil konsep dari evolusi manusia. Diperkenalkan pada tahun 2002, BRKGA telah menyelesaikan berbagai permasalahan optimisasi berkat kinerja dan fleksibilitasnya, seperti *Vehicle Routing Problem* (VRP), *Job Shop Scheduling*, *Lot Sizing*, *Layout Facility* dan Telekomunikasi (Prasetyo *et al.*, 2015). Implementasi BRKGA yang lebih fleksibel dalam representasinya membuat algoritma ini potensial untuk menyelesaikan CCVRPTW. Pada penelitian ini untuk meningkatkan kinerja dan performansi dari BRKGA maka algoritma akan dipadukan dengan modifikasi, yaitu *local search*. Karena, perbaikan yang dilakukan *local search* menemukan solusi lebih optimal dalam pengkodean dan representasi kromosom. Oleh karena itu, beberapa eksperimen akan dilakukan untuk membuktikan BRKGA dengan *Local Search* lebih optimal dari pada BRKGA Standar dan metode heuristik.

2. METODE

2.1 Permasalahan, Notasi dan Asumsi

Permasalahan CCVRPTW banyak ditemukan salah satunya pada penelitian Sembiring (2008) yang membahas permasalahan VRP dalam dunia industri, yaitu pendistribusian *soft drink* pada perusahaan *soft drink* dengan metode heuristik. Distribusi *soft drink* bertujuan untuk menemukan urutan rute optimum, sehingga produk dapat didistribusikan dari depot ke setiap *outlet*. Kantor penjualan berperan sebagai depot tunggal dan hulu serta hilir dalam proses distribusi, permasalahan ini dinamakan rute tertutup (*close*). Produk dari depot akan didistribusikan kepada 45 konsumen atau

outlet yang tersebar di area distribusi, *outlet* akan menjadi titik-titik atau *node* tujuan pendistribusian. Kompleksitas permasalahan distribusi ini terjadi karena banyaknya *outlet* yang tersebar, namun perusahaan belum memiliki rute distribusi optimal. Selain itu alat angkut yang digunakan memiliki kapasitas tertentu, sehingga jumlah permintaan setiap *outlet* harus diperhitungkan. Batasan waktu distribusi yang disediakan perusahaan menjadi salah satu kendala lain dalam proses distribusi, dikarenakan seringnya terjadi keterlambatan pengiriman produk dari depot menuju ke *outlet-outlet*. Kapasitas dan waktu menjadi suatu hal yang krusial untuk dipertimbangkan, karena urutan rute optimum akan mengoptimalkan biaya distribusi perusahaan. Produk yang didistribusikan berupa sebuah jenis *soft drink* yang dikemas dalam suatu krat tertentu. Kendaraan akan mengangkut produk dari depot menuju ke *outlet* yang lain kemudian kembali ke depot dengan jumlah tertentu sesuai dengan kapasitas kendaraan dan permintaan konsumen.

Pada penelitian ini membutuhkan data-data guna menunjang hasil penelitian, data-data tersebut berupa lokasi dari setiap titik (*outlet*) dan kantor penjualan (depot), jarak dan waktu perjalanan antar *outlet* dan depot, permintaan setiap *outlet*, kapasitas kendaraan, waktu distribusi, waktu *setup* kendaraan, waktu pelayanan setiap *outlet*, waktu *loading* dan waktu *unloading* setiap *outlet*. Minimum biaya dihasilkan dari *input* data berupa jarak perjalanan, dimana setiap 9 km perjalanan membutuhkan bahan bakar sebesar 1 liter, dengan biaya Rp. 4.300,00- per liter. Selain itu dibutuhkan pula beberapa asumsi dalam penelitian ini, antara lain jumlah permintaan *outlet* telah diketahui di awal berdasarkan laporan permintaan, permintaan *outlet* selalu konstan setiap melakukan distribusi. Alat angkut yang digunakan dalam pendistribusian adalah sebuah truk berkapasitas 130 krat. Kapasitas waktu yang tersedia diasumsikan sama dan konstan dalam setiap sub rute yaitu 480 menit, diantaranya mencakup 15 menit untuk waktu *setup* kendaraan pada setiap sub rute dan waktu pelayanan selama 19 menit dan waktu penurunan produk serta penaikan produk kosong dalam truk pada setiap *outlet*. Allowance distribusi sebesar 20% digunakan untuk keadaan tidak terduga yang mungkin terjadi saat pendistribusian berlangsung, seperti kendaraan mogok dan jalan macet.

Berdasarkan karakteristik pendistribusian, notasi yang digunakan adalah sebagai berikut:

N : jumlah titik/ *outlet*

i : indeks lokasi *node* asal dalam suatu sub rute; $i=1, 2, 3, \dots, (N+1)$ atau (n_t+1) dimana $N+1$ atau (n_t+1) adalah depot

j : indeks lokasi *node* tujuan dalam suatu sub rute; $j=1, 2, 3, \dots, (N+1)$ atau (n_t+1) dimana $N+1$ atau (n_t+1) adalah depot; $1 \leq j \in \mathbb{R}$

C_{ij} : biaya perjalanan rute ij

X_{ij} : peluang kendaraan melewati rute ij
 S : jumlah sub rute yang terbentuk
 d_i : permintaan *outlet* pada *node* i
 W : kapasitas kendaraan
 n_l : jumlah *outlet* dalam satu sub rute ke- l ; $l = 1, 2, 3, \dots, S$
 r_l : urutan sub rut ke- l ; $l = 1, 2, 3, \dots, S$
 q_i : waktu pelayanan dan waktu *loading/unloading* pada *node* i
 t_{ij} : waktu perjalanan dari *outleti* menuju ke *outletj*
 p : waktu *setup* kendaraan
 a : *allowance* distribusi
 T : kapasitas waktu

Permasalahan dalam penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan urutan rute distribusi sehingga dihasilkan minimasi biaya distribusi, yang dimodelkan dengan model matematis pada Persamaan 1. Beberapa kendala yang terjadi yaitu jumlah sub rute dalam satu rute yang dibatasi oleh banyaknya permintaan dibagi dengan kapasitas kendaraan, seperti pada Persamaan 2. Kendala yang lain terjadi pada kapasitas kendaraan yang dimiliki alat angkut sehingga jumlah permintaan saat pengiriman produk terbatas, hal ini dimodelkan dengan dengan model matematis pada Persamaan 3. Kendala yang terakhir berupa waktu distribusi yang dibatasi oleh perusahaan, batasan waktu meliputi waktu *setup* kendaraan dalam satu sub rute, waktu pelayanan pada setiap *outlet*, waktu *loading* dan *unloading* pada setiap *outlet*, waktu perjalanan dari *outlet* (i) menuju ke *outlet* tujuan (j), yang dimodelkan dengan model matematis pada Persamaan 4.

$$\text{Min } z = \sum_{i=1}^{N+1} \sum_{j \neq i}^{N+1} C_{ij} X_{ij} \quad (1)$$

dengan kendala,

$$S = \left\lceil \sum_i^N d_i / W \right\rceil \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^{n_l+1} \sum_{j \neq i}^{n_l+1} d_i X_{ij} \leq W; \forall r_l; l = 1, 2, 3, \dots, S \quad (3)$$

$$\left(\sum_{i=1}^{n_l+1} \sum_{j \neq i}^{n_l+1} (q_i + t_{ij}) X_{ij} + p \cdot X_{ij} \cdot Y_{ij} \right) \cdot (1 + a) \leq T; \forall r_l; l = 1, 2, 3, \dots, S \quad (4)$$

dimana,

X_{ij} : 1 jika *node* asal *i* menuju *node* tujuan *j* dilewati oleh kendaraan; 0 jika kendaraan tidak melewati keduanya

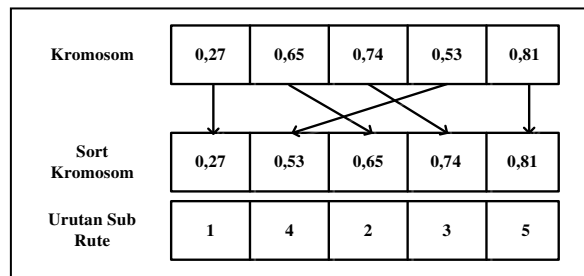
Y_{ij} : 1 jika $i = n_t + 1$; 0 jika sebaliknya

2.2 Pendekatan Solusi

Biased Random Key Genetic Algorithm (BRKGA) merupakan varian dari *Random Key Genetic Algorithm* (RKGA) yang diperkenalkan pertama kali dalam penelitian Bean (1994) untuk masalah optimisasi dan pertama diusulkan dalam penelitian Ericson *et al.*, (2002) dan Goncalves & Almeida (2002). BRKGA terdiri dari populasi (p) yang direpresentasikan dalam bentuk vektor dari bilangan *real* secara *random* pada interval 0 hingga 1 dan dibangkitkan dari generasi ke generasi (Resende, 2012; Prasetyo *et al.*, 2015; Goncalves & Resende, 2015). Bilangan akan membentuk suatu kromosom yang berisi *gen-gen*, *gen* dalam kromosom mewakili *outlet* yang akan di decodingkan. *Decoding* dalam satu populasi dilakukan dengan menerjemahkan *gen* di setiap kromosom menjadi *outlet-outlet*. Sehingga urutan rute distribusi dapat dibentuk sesuai dengan batasan kapasitas dan waktu, dan biaya distribusi dapat dikalkulasikan. Pada Gambar 1, kromosom dengan *gen* 0,27; 0,65; 0,74; 0,53; 0,81 mewakili setiap *outlet* yang akan di decodingkan, urutan rute diperoleh dengan langkah *sorting* yaitu mengurutkan *gen* dari *genterkecil* hingga *genterbesar*, hasil *sort gen* 0,27; 0,53; 0,65; 0,74; 0,81 menghasilkan urutan rute 1-4-2-3-5. Pada iterasi selanjutnya *gen-gen* baru diperoleh dengan proses *encoding* dari *outlet* dengan fitness minimum kemudian diterjemahkan menjadi sebuah kromosom terbaik.

Pada generasi g tersusun oleh kategori elit (pe) dan kategori non elit ($p-pe$) dalam populasi awal (p). Salah satu bagian dari generasi ($g+1$) dihasilkan dari *copy* kategori elit (pe) generasi g , langkah ini memastikan solusi terbaik tetap berada dalam populasi. Kemudian mutan (pm) ditambahkan dalam populasi, mutan berasal dari bilangan *random* seperti populasi awal. Bagian akhir dari generasi ($g+1$) merupakan hasil *crossover* ($p-pe-pm$) kategori elit (pe) dengan kategori non elit ($p-pe$) dengan probabilitas seperti pada Tabel 1. Tabel 1 menunjukkan parameter yang direkomendasikan Goncalves & Resende pada tahun 2011, berupa ukuran populasi, probabilitas elit, probabilitas mutan dan probabilitas keturunan elit. Pada ukuran populasi, nilai yang disarankan yaitu $p = ax$, dimana a merupakan anggota bilangan *real* yang lebih besar atau sama dengan 1 dan x merupakan panjang kromosom. RKGA memilih dua orang tua dari semua individu dalam populasi untuk dikawinkan (Grasas *et al.*, 2014), sedangkan BRKGA memilih dua orang tua dari masing-masing kromosom kategori elit dan non elit dalam populasi untuk dikawinkan (Fernando & Mauricio,

2011). *Crossover* dihasilkan dengan melakukan persilangan antara dua orang tua dari kategori elit dan kategori non elit dengan probabilitas keturunan elit 0,7 seperti pada Tabel 1. Sebagai ilustrasi, orang tua 1 (*pe*) memiliki *gen* 0,27; 0,65; 0,74; 0,82; 0,39 dan orang tua 2 (*p-pe*) memiliki *gen* 0,78; 0,71; 0,18; 0,53; 0,81. Bilangan *random* dengan interval 0 dan 1 sepanjang kromosom orang tua digenerasikan yaitu 0,32; 0,69; 0,42; 0,87; 0,76. Apabila bilangan random kurang dari 0,7 maka keturunan akan mewarisi *gen* orang tua elit, jika lebih maka mewarisi keturunan *gen* orang tua non elit. Maka berdasarkan persilangan dihasilkan keturunan dengan kromosom yang memiliki *gen* 0,27; 0,65; 0,74; 0,53; 0,81. Proses serupa akan dilakukan pada *crossover* generasi ($g+2+3+\dots$).



Gambar 1 *Decoding* Kromosom

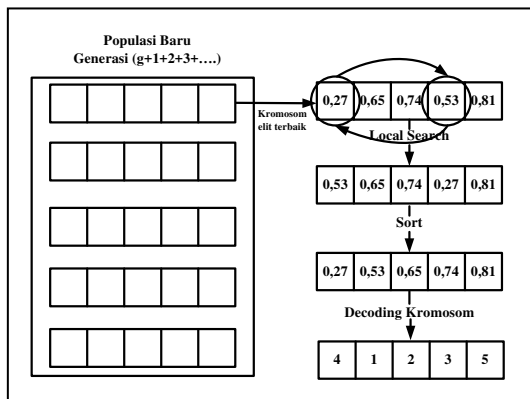
TABEL 1 REKOMENDASI PARAMETER BRKGA (GONCALVEL & RESENDE, 2011)

Parameter	Description	Recommended value
p	size of population	$p = ax$, where $1 \leq a \in \mathbb{R}$ is a constant and x is the length of the chromosome
pe	size of elite population	$0.10p \leq p_e \leq 0.25p$
pm	size of mutant population	$0.10p \leq p_m \leq 0.30p$
ρ_e	elite allele inheritance probability	$0.5 \leq \rho_e \leq 0.8$

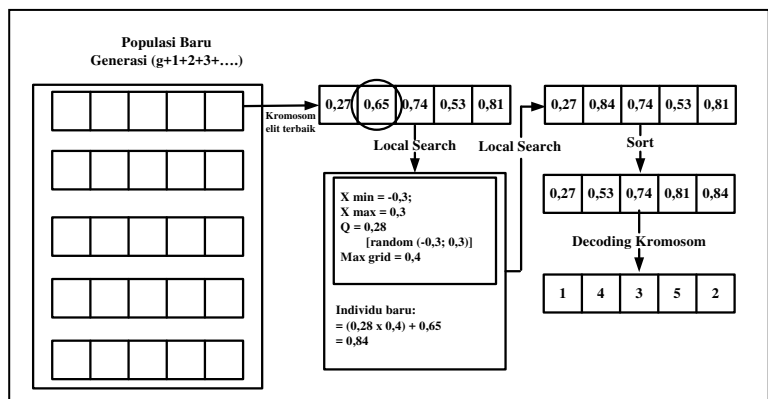
Lain halnya BRKGA Standar, *Local Search Procedure* (LSP) tidak hanya melakukan duplikasi kategori elit pada saat pembentukan populasi baru, melainkan melakukan perbaikan kromosom. LSP menentukan dimana titik (*gen*) yang akan diperbaiki dalam satu kromosom terbaik kategori elit dari generasi ($g+1+2+\dots$). Jika dihasilkan perbaikan solusi, maka *local search* akan melakukan pencarian solusi dari solusi baru dengan iterasi tertentu sehingga didapatkan solusi paling optimum. Solusi optimum yang dihasilkan akan meningkat jika kinerja BRKGA meningkat, modifikasi *local search* pada BRKGA akan mempertahankan setiap kromosom terbaik dari kategori elit dalam setiap iterasi pada proses *crossover*.

Pencarian individu tetangga secara *random* serta perbaikan individu dalam kromosom akan menjadi langkah dilakukannya *local search*. Sebagai contoh pada Gambar 1 kromosom dengan *gen* 0,27; 0,65; 0,74; 0,53; 0,81 menghasilkan urutan rute 1-4-2-3-5. Pencarian *gen* tetangga secara *random* menghasilkan *gen* 0,27 dan 0,53 seperti pada Gambar 2. Hasil *local search* menunjukkan kromosom baru dengan *gen* 0,53; 0,65; 0,74; 0,27; 0,81 dan urutan rute distribusi 4-1-2-3-5, sehingga urutan rute distribusi yang dihasilkan berbeda. Gambar 3 menunjukkan langkah lain dalam

perbaikan kromosom yang dilakukan dengan mengambil *gen* secara acak dan terpilih *gen* 0,65. Bilangan 0,28 (*Q*) diperoleh dari *random* bilangan interval -0,3 dan 0,3, maksimum *grid* di tetapkan dengan nilai 0,7. Individu baru dihasilkan dari kalkulasi perkalian (*Q*) dengan maksimum *grid* dan *gen* terpilih. Kromosom baru dihasilkan 0,27; 0,84; 0,74; 0,53; 0,81 yang membentuk urutan rute 1-4-3-5-2. Proses *local search* dengan dua langkah ini dilakukan secara *continue* pada 45 pengulangan dengan probabilitas yang sama antar keduanya, sehingga menghasilkan solusi optimum. Probabilitas penggunaan *local search* (a) dan (b) dalam algoritma telah ditentukan dengan melakukan percobaan beberapa jumlah iterasi pada algoritma.



Gambar 2 *Local Search Procedure* (a)



Gambar 3 *Local Search Procedure* (b)

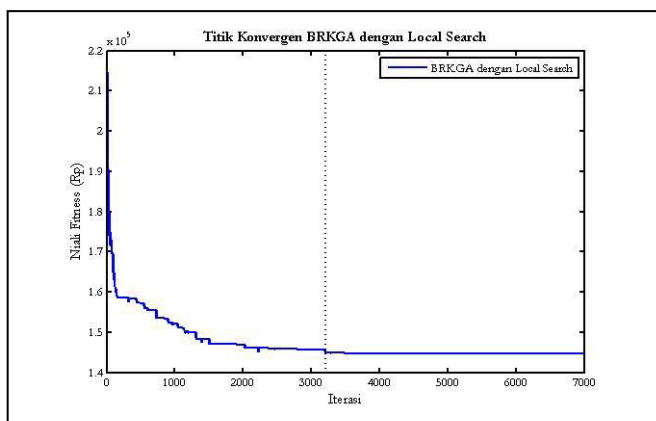
Pada penelitiannya Prasetyo *et al.* (2015) menyebutkan bahwa BRKGA dengan *Local Serach* telah digunakan dalam penelitian Silva *et al.* (2013) dan Silva *et al.* (2014) dengan metode yang berbeda namun konsep *local search* yang sama. BRKGA dikatakan lebih optimal apabila telah dibandingkan dengan metode lain pada sebuah penelitian. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dibandingkan antara metode heuristic, BRKGA Standar dan BRKGA dengan *local search* yang bertujuan untuk mengetahui apakah BRKGA lebih optimal dari pada metode heuristic.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

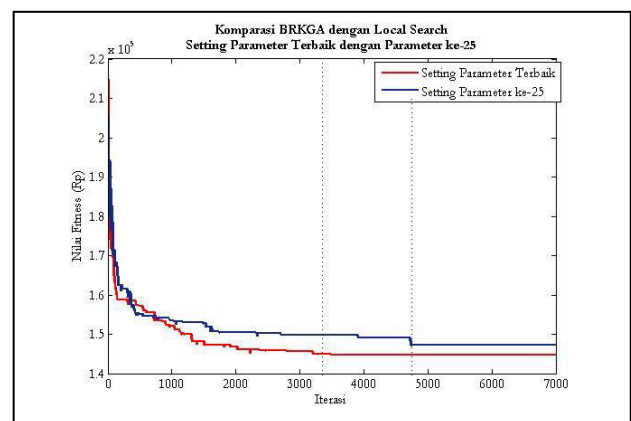
3.1 Pengaturan Parameter BRKGA dengan *Local Search*

Program BRKGA ini telah diimplementasikan pada aplikasi MATLAB versi 7.11.0.584 (R2010b), 64 bit (win64) dan dijalankan pada *notebook* Intel® Core™ i5-2450M @ 250 GHz dan kapasitas RAM 4 GB. *Setting* parameter BRKGA berdasarkan Tabel 1 menggunakan ukuran populasi yang konstan yaitu 45 populasi. Probabilitas elit 0,1; 0,15; 0,2; 0,25, probabilitas mutan 0,1; 0,2; 0,3 dan probabilitas keturunan elit 0,5; 0,6; 0,7; 0,8. Konfigurasi *setting* parameter menghasilkan 48 parameter, setiap parameter dikomputasikan sebanyak 50 sampel nilai fitness dengan jumlah iterasi adalah 700 pengulangan dan dihasilkan rata-rata fitness dalam setiap parameter. Parameter terpilih

merupakan parameter dengan nilai rata-rata fitness terendah dari seluruh parameter. Tabel 2 menunjukkan hasil rata-rata minimum fitness dan standar deviasi dari 50 sampel. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh bahwasanya semakin besar probabilitas mutan, maka biaya yang dihasilkan semakin tinggi, selain itu semakin besar probabilitas keturunan elit maka biaya yang dihasilkan akan semakin tinggi pula. Nilai fitness terendah diperoleh pada konfigurasi parameter pertama dengan *setting* parameter probabilitas elit 0,1, probabilitas keturunan elit 0,5 dan probabilitas mutan 0,1 dengan biaya sebesar Rp. 152.945,13- dan standar deviasi sebesar Rp. 4.054,02-. Gambar 4 menunjukkan titik konvergen dari komputasi BRKGA dengan *Local Search* menggunakan *setting* parameter terbaik.



Gambar 4 Titik Konvergen
BRKGA dengan *Local Search*



Gambar 5 Komparasi BRKGA
dengan *Local Search* *Setting* Parameter
Terbaik dengan Parameter Lain

Setelah menghasilkan *setting* parameter terbaik, algoritma akan kembali dikomputasikan untuk mendapatkan minimum biaya akhir. Komputasi dilakukan dengan *setting* parameter terbaik dan dilakukan pengulangan sebanyak 7000 iterasi, sehingga diperoleh minimum biaya sebesar Rp. 144.760,00-. *Setting* parameter terbaik dibuktikan dengan Gambar 5 yang menunjukkan perbandingan titik konvergen pada BRKGA dengan *setting* parameter terbaik dan *setting* parameter lain. Konfigurasi yang digunakan yaitu parameter ke-25 dengan probabilitas elit 0,2 probabilitas keturunan elit 0,5 dan probabilitas mutan 0,1. Berdasarkan Tabel 2 rata-rata minimum biaya yang dihasilkan oleh *setting* parameterterbaik sebesar Rp. 152.945,13- dan parameter ke-25 adalah Rp. 155.646,59-. Sehingga akan dilakukan perbandingan untuk menunjukkan perbedaan diantara kedua *setting* parameter. Hasil perbandingan dengan pengulangan sebanyak 7000 iterasi, menunjukkan bahwa *setting* parameter terbaik lebih cepat mencapai titik menuju konvergen dari pada parameter ke-25. Parameter ke-25 mencapai titik konvergen mulai iterasi ke-4200 hingga iterasi ke-7000 dengan minimum biaya yang dihasilkan sebesar Rp. 147.208,00-.

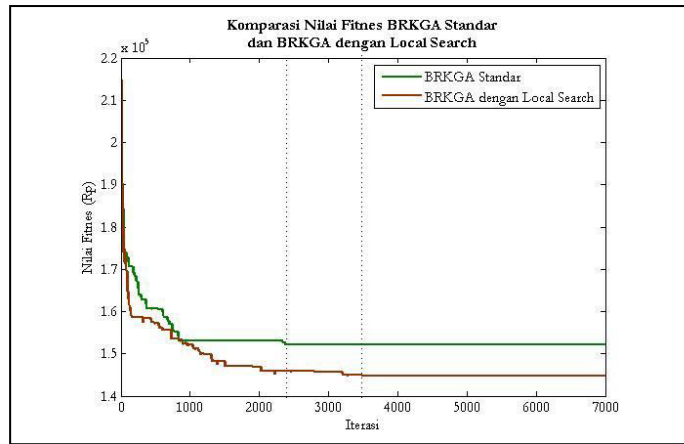
TABEL 2 NILAI RATA-RATA FITNES SETIAP KONFIGURASI PARAMETER

No	Persen Elit (%)	Probabilitas Elit (%)	Persen Mutasi (%)	Rata-rata Fitness (Rp)	Standar Deviasi	No	Persen Elit (%)	Probabilitas Elit (%)	Persen Mutasi (%)	Rata-rata Fitness (Rp)	Standar Deviasi
1	0.1	0.5	0.1	152945.13	4054.02	25	0.2	0.5	0.1	155646.59	3645.81
2	0.1	0.5	0.2	154885.69	3803.77	26	0.2	0.5	0.2	159275.25	4260.27
3	0.1	0.5	0.3	161540.24	4288.74	27	0.2	0.5	0.3	166363.86	3980.99
4	0.1	0.6	0.1	154844.57	3489.40	28	0.2	0.6	0.1	157177.15	3121.21
5	0.1	0.6	0.2	157686.68	3803.17	29	0.2	0.6	0.2	160117.04	3639.54
6	0.1	0.6	0.3	173342.28	6504.35	30	0.2	0.6	0.3	183057.89	8046.65
7	0.1	0.7	0.1	157791.38	4333.23	31	0.2	0.7	0.1	159415.35	3665.80
8	0.1	0.7	0.2	168259.31	5965.02	32	0.2	0.7	0.2	176626.54	7104.84
9	0.1	0.7	0.3	192026.87	6080.37	33	0.2	0.7	0.3	197094.11	3850.16
10	0.1	0.8	0.1	168883.43	5813.33	34	0.2	0.8	0.1	172286.50	6720.37
11	0.1	0.8	0.2	193513.55	6211.51	35	0.2	0.8	0.2	196832.04	4638.36
12	0.1	0.8	0.3	198017.49	3695.83	36	0.2	0.8	0.3	199100.94	3427.95
13	0.15	0.5	0.1	153069.36	3798.22	37	0.25	0.5	0.1	155573.18	4052.90
14	0.15	0.5	0.2	157136.79	3999.96	38	0.25	0.5	0.2	160003.84	3947.18
15	0.15	0.5	0.3	164265.15	4371.58	39	0.25	0.5	0.3	173477.15	6374.61
16	0.15	0.6	0.1	155606.48	3409.20	40	0.25	0.6	0.1	157630.22	3614.92
17	0.15	0.6	0.2	160265.96	4517.81	41	0.25	0.6	0.2	163704.72	4684.57
18	0.15	0.6	0.3	175344.95	5173.87	42	0.25	0.6	0.3	192463.78	5511.09
19	0.15	0.7	0.1	158850.79	4348.97	43	0.25	0.7	0.1	161662.15	3310.95
20	0.15	0.7	0.2	169003.03	5775.75	44	0.25	0.7	0.2	190148.54	5924.53
21	0.15	0.7	0.3	195630.81	4807.02	45	0.25	0.7	0.3	196475.05	5611.39
22	0.15	0.8	0.1	171437.16	5621.12	46	0.25	0.8	0.1	185153.49	8290.33
23	0.15	0.8	0.2	196553.59	3837.27	47	0.25	0.8	0.2	197839.47	3995.79
24	0.15	0.8	0.3	196870.02	4750.17	48	0.25	0.8	0.3	198996.55	3705.20

3.2 Unjuk Kerja BRKGA

Algoritma BRKGA dijalankan dalam dua komputasi, BRKGA Standar dan BRKGA dengan *Local Search*, setiap komputasi menghasilkan fitness terendah dengan urutan rute distribusi tertentu. Gambar 6 menunjukkan grafik titik konvergen minimum fitness dari BRKGA Standar dan BRKGA dengan *Local Search* dengan *setting* parameter terbaik. Pada BRKGA Standar penurunan fitness terbesar terjadi pada iterasi ke-13, dengan besar penurunan fitness yaitu Rp. 7.171,44-, kemudian titik mengalami penurunan secara *continue* pada iterasi selanjutnya. Titik konvergen mulai diperoleh pada iterasi ke-2375, seperti ditunjukkan dengan garis vertikal pada Gambar 6.

Pada BRKGA dengan *Local Search* pola nilai fitness mengalami naik turun pada iterasi ke-1 hingga iterasi ke-2226, penurunan nilai fitness terbaik terjadi pada iterasi ke-12 yaitu sebesar Rp. 10.974,56-. Nilai fitness mulai mendekati konvergen pada iterasi ke-2000. Biaya total distribusi yang dihasilkan dari komputasi BRKGA Standar adalah Rp. 152.057,60- dan BRKGA dengan *Local Search* adalah Rp. 144.760,50-. Sehingga, penghematan yang diperoleh sebesar Rp. 7.297,10- dengan representasi 4,8% dari total biaya distribusi.



Gambar 6 Komparasi BRKGA dengan *Local Search* dan BRKGA Standar

3.3 Perbandingan BRKGA dengan Heuristik

Selain komparasi BRKGA dengan *Local Search* dan BRKGA Standar, tujuan utama dalam penelitian ini adalah membandingkan BRKGA dengan *Local Search* dan Metode Heuristik. Penelitian ini akan mengkomparasikan BRKGA dengan metode heuristik pada penelitian Sembiring (2008) dengan data-data serupa. Setelah dilakukan penelitian pada algoritma BRKGA, sebagian besar hasil penelitian menunjukkan bahwa BRKGA lebih unggul dari pada heuristik. Waktu yang dibutuhkan untuk komputasi algoritma BRKGA sangat singkat dibandingkan metode heuristik. Pada komputasinya algoritma ini merancang urutan rute distribusi berdasarkan kapasitas kendaraan dan jangka waktu yang tersedia, urutan rute yang dihasilkan bisa dipastikan *feasible*. Table 3 menunjukkan jumlah *outlet* yang dikunjungi dalam setiap sub rute, urutan rute distribusi dan permintaan dalam dari setiap sub rute. Pada pencarian solusi, BRKGA akan terus mencari hingga solusi optimum konstan, sedangkan heuristik saat menemukan solusi optimum proses pencarian solusi akan berhenti.

TABEL 3 HASIL DISTRIBUSI METODE HEURISTIK

SUB RUTE	Jumlah Outlet	Urutan Rute Distribusi	Demand (krat)	Jarak (km)	Waktu (menit)	Jumlah outlet	Urutan Rute Distribusi	Demand (krat)	Jarak (km)	Waktu (menit)
1	6	0-8-3-2-4-5-1-0	125	43,7	317,5	7	0-37-32-33-21-18-20-11-0	105	48.1	310.2
2	6	0-6-12-11-9-27-10-0	126	50,7	303,0	8	0-38-24-10-16-23-25-1-6-0	126	42.9	329.2
3	8	0-14-16-15-17-18-13-19-21-0	128	56,0	540,9	8	0-22-7-9-17-15-29-31-44-0	130	47.0	338.9
4	8	0-39-20-22-23-25-38-26-28-0	129	52,5	614,0	5	0-13-45-12-35-5-0	129	37.6	250.7
5	7	0-32-33-35-34-30-31-29-0	129	68,0	555,4	9	0-30-34-28-26-27-19-42-14-43-0	126	52.6	371.9
6	7	0-41-42-40-37-36-44-24-0	130	78,8	634,0	5	0-39-3-2-8-4-0	118	46.9	266.4
7	3	0-27-43-45-0	41	46,8	148,2	3	0-41-40-36-0	74	40.4	193.2

Biaya yang terjadi dalam setiap sub rute dipengaruhi oleh variasi jarak antara *outlet* dan depot, serta banyaknya jumlah *outlet* dalam satu sub rute. Sehingga hal tersebut akan mempengaruhi biaya total distribusi dalam satu sub rute. Variasi jarak antar *outlet* dan depot menjadi pengaruh yang paling signifikan dalam hal ini, karena semakin jauh jarak yang ditempuh maka biaya yang dikeluarkan semakin besar, begitu juga sebaliknya.

Perbedaan waktu yang terjadi di setiap sub rute dipengaruhi oleh besarnya waktu perjalanan antar *outlet* dan depot, banyaknya permintaan juga mempengaruhi besarnya waktu *loading* dan *unloading*. Berdasarkan pada Tabel 3, dihasilkan 7 sub rute untuk melakukan distribusi setiap hari dengan waktu distribusi yang berbeda-beda. Waktu distribusi yang dihasilkan oleh setiap sub rute memiliki waktu istirahat yang lebih dari cukup untuk kapasitas waktu yang tersedia. Maka dari itu, dapat dihasilkan penghematan waktu pada sub rute dengan waktu pendistribusian terkecil. Seperti pada sub rute ke-4 dan sub rute ke-7, kedua waktu tersebut memiliki waktu pendistribusian paling kecil dari 5 sub rute yang lain. Sehingga, pendistribusian pada sub rute ke-4 dan sub rute ke-7 dapat dilakukan dalam waktu yang sama dengan waktu pendistribusian tidak melebihi kapasitas waktu yang ditentukan. Urutan rute distribusi pada sub rute ke-4 setelah digabungkan dengan sub rute ke-7 adalah 0-13-45-12-35-5-0-41-40-36-0 dengan waktu distribusi sebesar 443,9 menit dan tidak melebihi batasan kapasitas waktu. Total biaya distribusi yang digunakan heuristik adalah Rp. 236.500,00- dan total biaya distribusi BRKGA dengan *Local Search* adalah Rp. 144.760,50-, maka dihasilkan penghematan biaya dari total distribusi sebesar Rp. 91.739,50- dengan representasi penghematan sebesar 38,8%.

4. PENUTUP

Artikel ini menyajikan penyelesaian kasus CCVRPTW menggunakan pendekatan BRKGA dengan *Local Search*. Rancangan BRKGA sangat efisien untuk menyelesaikan permasalahan CCVRPTW dengan kendala batasan kapasitas kendaraan dan jendela waktu. Aplikasi dalam dunia industri salah satunya terjadi pada pendistribusian minuman ringan. Pemotongan urutan rute distribusi dipertimbangkan berdasarkan batasan kapasitas dan waktu, sehingga urutan rute distribusi yang dihasilkan *feasible*. Algoritma BRKGA dengan *Local Search* mampu memperbaiki kinerja BRKGA Standar, sehingga solusi yang dihasilkan lebih optimal dari pada BRKGA Standar. Penghematan yang diperoleh sebesar Rp. 7.297,10- dengan representasi 4,8 % dari total biaya transportasi. Rancangan BRKGA menggunakan konfigurasi 48 *setting* parameter berdasarkan nilai rata-rata *fitnes* dari pengambilan 50 sampel minimum *fitnes* dengan *setting* parameter probabilitas elit (0,1; 0,15; 0,2; 0,25), probabilitas keturunan elit (0,5; 0,6; 0,7; 0,8) dan probabilitas mutan (0,1; 0,2; 0,3). Sehingga dihasilkan *setting* parameter terbaik yaitu parameter probabilitas elit 0,1 probabilitas mutan 0,1 dan probabilitas keturunan elit 0,5. Hasil penelitian menunjukkan besarnya penghematan yang diperoleh BRKGA dengan *Local Search* dari metode heuristik sebesar Rp. 91.740,00- dengan representasi penghematan sebesar 38,8 % dari total biaya transportasi. Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa kinerja BRKGA dengan *Local Search* lebih optimal dari pada kinerja BRKGA Standar dan metode heuristik dalam menyelesaikan permasalahan CCVRPTW.

Penelitian ini tidak fleksibel digunakan pada permasalahan dengan permintaan probabilistik, karena permintaan konsumen berubah-ubah setiap waktu, maka penelitian perlu dikaji lebih lanjut untuk kasus permintaan probabilistik. Selain itu beberapa asumsi yang digunakan dalam penelitian ini menjadi batasan tersendiri untuk menyelesaikan permasalahan CCVRPTW yang lain.

DAFTAR PUSTAKA

- Amri, M., Rahman, A., & Yuniarti, R., 2014. Penyelesaian Vehicle Routing Problem dengan Menggunakan Metode Nearest Neighbor (Studi Kasus: MTP Nganjuk Distributor PT. Coca Cola). *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Sistem Industri*, 2(1), pp. 36–45.
- Arinalhaq, F., Imran, A., & Fitria, L., 2013. Penentuan Rute Kendaraan Pengangkutan Sampah dengan Menggunakan Metode Nearest Neighbour (Studi Kasus PD Kebersihan Kota Bandung). *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional*, 1(1), pp. 22–32.
- Arvianto, A., Setiawan, A. H., & Saptadi, S., 2014. Model Vehicle Routing Problem dengan Karakteristik Rute Majemuk, Multiple Time Windows, Multiple Products dan Heterogeneous Fleet untuk Depot Tunggal. *Jurnal Teknik Industri*, 16(2), pp. 85–96.
- Bean, J. C., 1994. Genetic Algorithms and Random Keys for Sequencing and Optimization. *ORSA Journal on Computing*, 6(2), pp. 154–601.
- Djunaidi, M., Nugroho, M. T., & Anton, J. 2006. Simulasi Group Technology System untuk Meminimalkan Biaya Material handling dengan Metode Heuristik. *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*. 4(3), pp. 129–138.
- Ericsson, M., Resende, M. G. C., & Pardalos, P. M., 2002. A Genetic Algorithm for the Weight Setting Problem in OSPF Routing. *Journal of Combinatorial Optimization*, 6, pp. 299–333.
- Faiz, E., & Fahmi, F. E., 2013. Studi Komparasi Penyelesaian Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) dengan Metode Saving Matrix dan Generalized Assignment, *Jurnal Mahasiswa Matematika*, 1(4), p.pp–276.
- Fajarwati, I. A., & Anggraeni, W., 2012. Penerapan Algoritma Differential Evolution untuk Penyelesaian Permasalahan Vehicle Routing Problem with Delivery and Pick-up. *Jurnal Teknik ITS*, 1(1), pp. A391–A396.
- Fernando, J. & Mauricio, G., 2011. A parallel multi-population genetic algorithm for a constrained two-dimensional orthogonal packing problem. , pp.180–201.
- Fitria, L., Susanty, S., & Suprayogi., 2009. Penentuan Rute Truk Pengumpulan dan Pengangkutan Sampah di Bandung. *Jurnal Teknik Industri*, 11(1), pp. 51–60.
- Fleszar, K., Osman, I. H., & Hindi, K. S., 2009. A Variable Neighbourhood Search Algorithm for the Open Vehicle Routing Problem. *European Journal of Operational Research*, 195(3), pp. 803–809.
- Gonçalves, J. F., & Almeida, J. R. D., 2002. A Hybrid Genetic Algorithm for Assembly Line Balancing. *Journal of Heuristics*, 8, pp. 629–642.
- Gonçalves, J. F. & Resende, M. G. C., 2011. A Biased Random-Key Genetic Algorithm for Job-Shop Scheduling. AT&T Labs Research Technical Report, 46, pp. 253–271.
- Gonçalves, J. F., & Resende, M. G. C., 2015. A Biased Random-Key Genetic Algorithm for the Unequal Area Facility Layout Problem. *European Journal of Operational Research*, 246(1), pp. 86–107.

- Grasas, A., Ramalhinho, H., Pessoa, L. S., Resende, M. G. C., Caballe, I., & Barba, N., 2014. On the Improvement of Blood Sample Collection at Clinical Laboratories. *BMC Health Services Research*, 14(1), pp. 1-19.
- Liliani & Alfian, A., 2014. Usulan Pendajwalan Produksi dengan Algoritma Ant Colony (Studi Kasus PT Shima Prima Utama Pelembang). *Simposium Nasional RAPI XIII FT UMS*, pp. I9-I16.
- Lukitasary, W., Suyanto., & Dayawati, R. N., 2011. Capacitated Vehicle Routing Problem Time Windows (CVRPTW) dengan Menggunakan Algoritma Improved Ant Colony System (IACS) dan Algoritma Simulated Annealing (SA). *Telkom University*.
- Lydia, P. R. *et al.*, 2011. Capacitated Vehicle Routing Problem Time Windows (CVRPTW) Menggunakan Algoritma Harmony Search. *Telkom University*.
- Octora, L., Imran, A., & Susanty, S., 2014. Pembentukan Rute Distribusi Menggunakan Algoritma Clarke & Wright Savings dan Algoritma Sequential Insertion. *Jurnal Online Intitut Teknologi Nasional*. 2(2), pp. 1-11.
- Pavela, V., & P, I. N., 2009. Penyelesaian Vehicle Routing Problem dengan Menggunakan Algoritma Nearest Neighbor dan Tabu Search (Studi Kasus di PT Nippon Indosari Corpindo), *Jurusan Matematika Universitas Brawijaya*, pp. 244–247.
- Pradhana, F. E., Sugiharti, E., & Kharis, M., 2012. Penerapan Algoritma Tabu Search untuk Menyelesaikan Vehicle Routing Problem. *Jurusan Matematika Universitas Negeri Semarang*, 1(1), pp. 15-20.
- Prasetyo, H., Fauza, G., Amer, Y., & Lee, S. H., 2015. Survey on Applications of Biased-Random Key Genetic Algorithms for Solving Optimization Problems. In *Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, 2015 IEEE International Conference on. IEEE, pp. 863–870.
- Purnomo, A., 2010. Penentuan Rute Pengiriman dan Biaya Transportasi dengan Menggunakan Metode Clark and Wright Saving Heuristic (Studi Kasus PT The Botol Sosro Bandung). *Jurnal Logistik Politeknik Pos Indonesia*. 1(2), pp. 97-117.
- Putri, F.B., Mahmudy, W. F., & Ratnawati, D. E., 2014. Penerapan Algoritma Genetik untuk Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW) pada Kasus Optimasi Distribusi Beras Bersubsidi. *Repository Jurnal mahasiswa PTIIK Universitas Brawijaya*, 5(1), pp. 1-9.
- Resende, M. G. C., 2012. Biased Random-Key Genetic Algorithms with Applications in Telecommunications, *Top*, 20, pp. 130–153.
- Sembiring, A. C., 2008. Penentuan Rute Distribusi Produk yang Optimal dengan Menggunakan Algoritma Heuristik pada PT. Coca-Cola Bottling Indonesia Medan. *Tugas Akhir Strata 1 (S1) Universitas Sumatera Utara*.
- Silva, R. M. A., Resende, M. G. C., Pardalos, P. M., & Faco, J. L., 2013. Biased Random Key Genetic Algorithm for Linearly Constrained Global Optimization. *Proceedings of The 15th Annual Conference Companion on Genetic and Evolutionary Computation*, pp. 79-80.
- Silva, R. M. A., Rensende, M. G. C., & Pardalos, P. M., 2014. Finding Multiple Roots of a Box Constrained System of Nonlinear Equations with a Biased Random Key Genetic Algorithm. *Journal of Global Optimization*, 60, pp. 289-306.
- Slamet, A. S., Siregar, H. H., & Kustiyo, A., 2014. Vehicle Routing Problem (VRP) dengan Algoritma Genetika pada Pendistribusian Sayuran Dataran Tinggi. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 24(1), pp. 1-10.